

代替フロンの用途別実用化状況

家庭用電気冷蔵庫

Refrigerators

瀧 勝彦*

Katsuhiko Taki

1. はじめに

家庭用冷蔵庫には、冷媒用とウレタン断熱材の発泡用として特定フロン（Chlorofluorocarbon-以下CFCと記す）が使用されてきた。これらCFCは特性面、安全面、化学的安定性において冷蔵庫にとって非常に好ましいものであった。

しかし、オゾン層破壊防止の目的から地球規模でCFCの削減を目指す必要があり、1995年末までに全廃することになった。

日本においては、1993年末からCFC対応の冷蔵庫が商品化されはじめ、その後順次切替えが進行しており、計画通り1995年末には全廃できる見通しである。

冷蔵庫は、10年以上に渡って常時運転し続け、かつ、冷却性能など機能を維持する必要があるため、代替物質の選定は信頼性・性能両面で、特に慎重に見極めることが必要である。

日本の冷蔵庫メーカー各社は、JEMA（The Japan Electrical Manufacturers' Association 日本電機工業会）に『電気冷蔵庫フロン対応研究委員会』および「コンプレッサ」「断熱材」「冷凍サイクル」の

3分科会を設置し、各社の技術力の結集を行い、早期代替技術の確立を図ってきた。

現在（95年6月時点）、冷蔵庫製造各社から販売されている大半の機種がCFC対応が完了しているが、HCFC（Hydrochlorofluorocarbon）の早期全廃への対応、地球環境維持のための地球温暖化抑制への省エネルギーの取組み、さらにはCFCの回収・廃棄・分解の効率的な社会システムの構築、などが今後の大きな課題である。

以上の視点から、家庭用電気冷蔵庫のフロン対応の取組みを紹介し、参考に供することとしたい。

2. 電気冷蔵庫におけるCFC使用量

2.1 電気冷蔵庫の商品動向

日本における冷蔵庫の普及率は昭和40年代後半には90%に、図-1に示すように50年代には98%に達し、まさに生活必需品となった。世帯当りの保有台数も1.2台/世帯を示しており、年間生産台数は、94年度500万台近くに達している（図-2）。

家庭用冷蔵庫は暮らしと密接な関わりを持って、変化してきており、特に食生活のうつり変わりに大きく

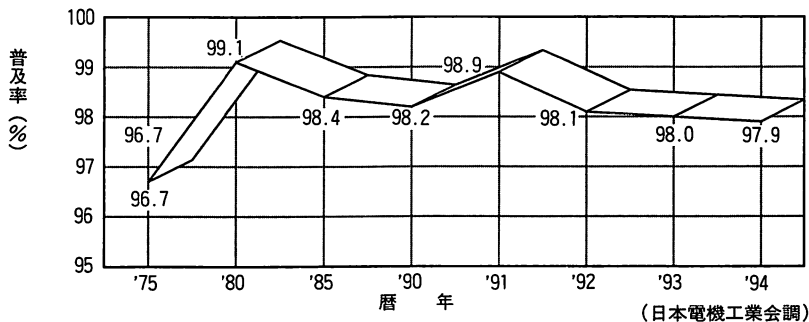


図-1 年度別普及率の推移

* 松下冷機(株)冷蔵庫事業部技術部開発担当参事
〒525 滋賀県草津市野路町2275

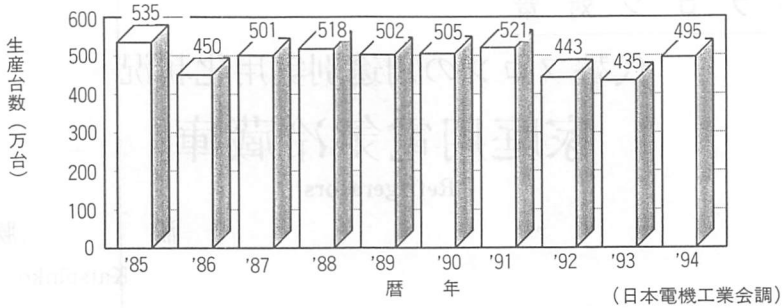


図-2 生産台数の推移

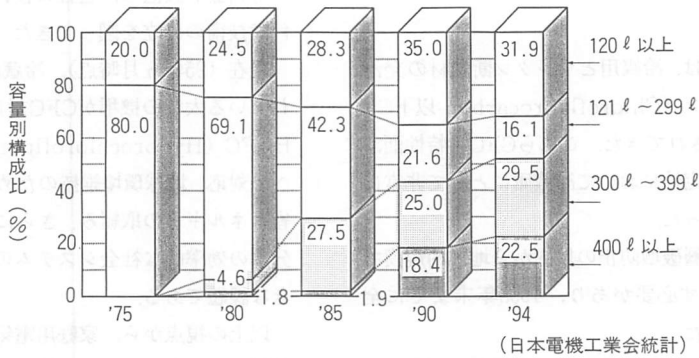


図-3 電気冷蔵庫の大容量化の推移

影響をうけてきた。ひと昔前の食品の一時保管場所やボトル類の冷し場所の役目から、収納される多様な食品の種類に対応し、しかも鮮度を保ちながらの保存が重要となってきた。

最近の仕様面から見た変化の特徴は、大型化と多扉・多機能化の動きであり、図-3に示すように、内容積が300ℓ以上の冷蔵庫が50%を越え、なかでも400ℓ超の比率の増加傾向が顕著である。

機能面での変化は、野菜室・パーシャルフリージングなどの特定低温室・製氷室等の機能付加と、使い勝手を改善する目的に沿った、引出し冷凍室タイプや、ジャンボドア棚付きなどの多扉化である。ただし、シルバーおよびシングル世帯の増加から、120ℓ以下の単機能冷蔵庫も根強い需要がある。この内容積および機能の二極化の傾向は、今後もさらに強まっていくであろう。

2.2 冷蔵庫のCFC消費量

冷蔵庫の冷却機能の基本は、図-4のように断熱函体と冷凍システムで構成している。断熱材には発泡ウレタンを使用しており、このウレタンの発泡剤にCFC-11が使用されてきた。また、冷凍システムは図-5に示すように密閉系の冷凍サイクルであり、冷媒として

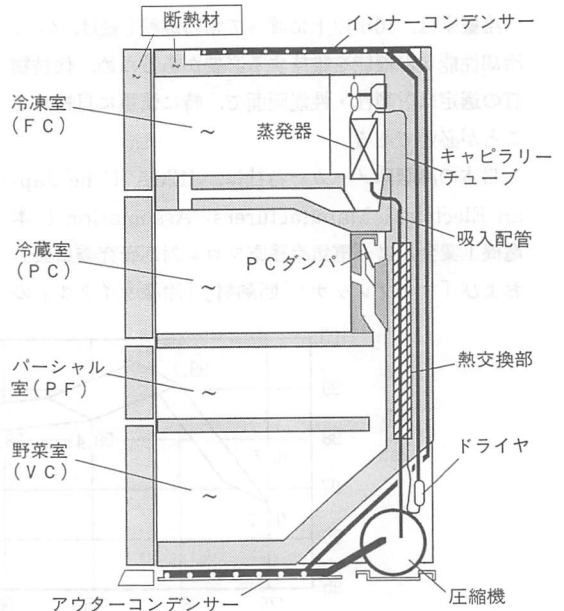


図-4 電気冷蔵庫の断面

CFC-12を使用してきた。

冷蔵庫に使用されていたCFCの絶対量は以外に僅少であり、冷蔵庫業界がCFC全廃を達成しても、日本

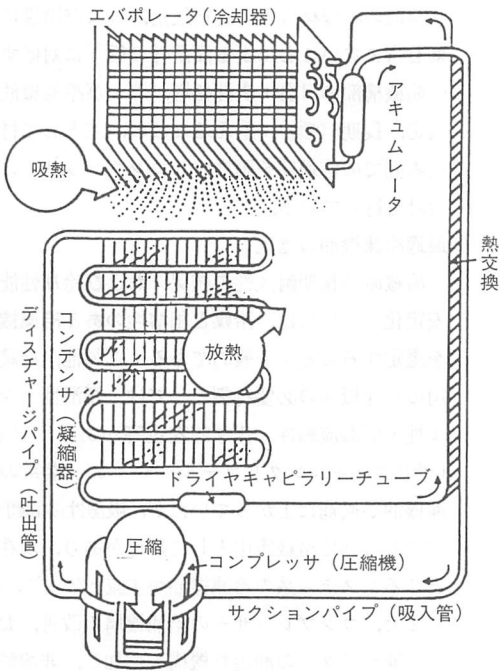


図-5 電気冷蔵庫の冷凍サイクル

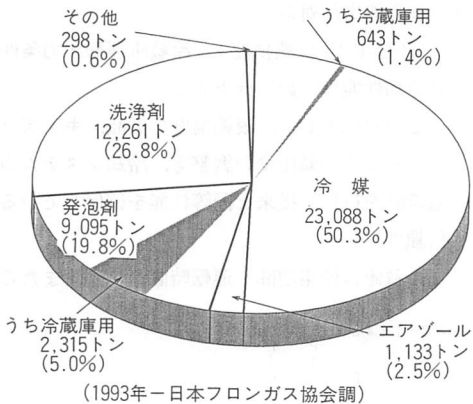


図-6 CFCの用途別出荷状況

では1986年度ベースでフロン総量の2%程度の寄与率である。圧倒的に使用量が多かった洗浄用の代替化が進んだ1993年度においても、冷蔵庫用は6%程度である(図-6)。

家庭用電気冷蔵庫においては、冷媒CFC-12の平均使用量は、1986年で140g/台で、日本国内合計で約875トン消費した。冷蔵庫の大型化により冷媒の充填量は、1993年の実績で160g/台と増加しているが、消費量合計は約643トンであった。

硬質ポリウレタンはポリオール成分のR液と、イソシアネート成分であるP液の二液を混合することで架橋硬化する。図-7に示すように、CFC-11は、R液としてポリオール・触媒・整泡剤と共に予め混合されて使用される。

冷蔵庫製造工程では、このR液に、硬化剤であるP液を、ミキシングヘッドで混合しながら冷蔵庫キャビネット壁空間内に注入する。注入された混合原液は化学反応熱を発生、この熱でCFC-11が気化し、発泡ポリウレタンとなって冷蔵庫断熱壁を形成する。

発泡剤でのCFC-11の消費は、冷媒の約4倍の約600g/台を使用し、1992年消費合計は約2900トン、1993年で約2300トンであった。

3. CFCの代替技術

3.1 冷媒用CFC-12の代替手段

冷蔵庫は、前述の如く10年以上常時運転し、かつ冷却性能を維持する必要があるため、代替冷媒の選定は耐久性・性能両面で、特に慎重な見極めが必要であり、冷蔵庫メーカー各社は数年間の研究開発期間をかけ、93年後半からHFC-134a、またはHCFC-22の2種類の冷媒の採用によって商品化を図ってきた。(表1)

次に、これらの代替冷媒の採用検討の状況を述べる。

(1) HFC-134a

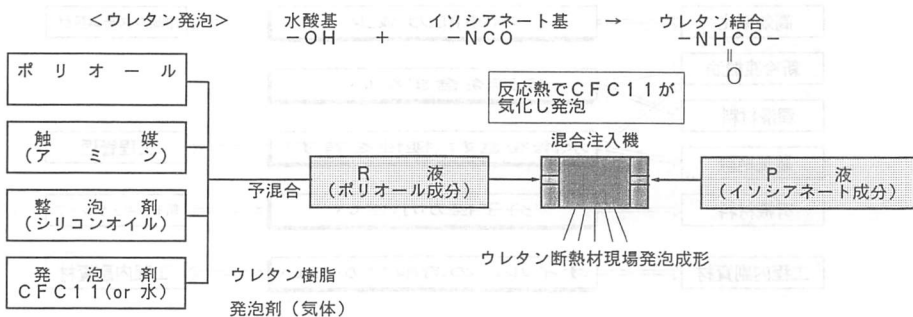


図-7 冷蔵庫ウレタン発泡の原理と手段

表1 CFC代替冷媒の方向

圧縮機形式	現行冷媒 → 代替冷媒
ロータリー	CFC-12 → FC134a R502 → HCF22
レシプロ	CFC-12 → HFC134a
スイング	CFC-12 → HFC134a

▷CFC-12 → HFC-134a : 特性的に類似
▷R502 → HFC134a : 能力差が大きい
従ってR502 → HCFC22

塩素を含まないことからオゾン破壊係数（以下ODPと記す）が0であり、冷却特性的にも従来のCFC-12に非常に近いことから、現時点での、新規代替冷媒の第一候補であり、日本をはじめ、ヨーロッパ、アメリカなど、世界的にも中長期的には主流となるものと思われる。

但し、冷媒の特性より冷凍機油は主として相溶性のある合成油に変更する必要がある、親水性の増加とあいまって、冷凍機油や冷凍サイクル内に残留する副資材の化学変化による信頼性の低下に充分注意する必要がある。特に冷凍サイクルとしては、キャピラリチューブ内等の残留物による冷却性能の低下が問題となる。また、信頼性確保のためには厳しい部品、工程管理も重要なポイントである。（図-8）

以下HFC-134a 適用の要点を述べる。

①コンプレッサの再設計

CFC-12に比し、ケミカルアタックや親水性の増大等、化学的変化の要因が増すので、モーター

巻線他の絶縁材などの材料選定、および冷媒に塩素を含まないことによる潤滑性の低下に対応する圧縮機構部の材質・表面処理、および冷凍機油の選定、長期信頼性に耐えるための、主として材料技術面での信頼性を確立するコンプレッサの再設計を行っている。

②最適冷凍機油の選定

冷蔵庫の長期耐久性の確保、および冷却性能の安定化のためには、冷媒と相溶性のある冷凍機油を選定することが一般的である。この他、冷蔵庫用の冷凍機油の必要特製としては、潤滑性・シール性・低温流動性・化学的安定等があり、PAG（ポリアルケレングリコール）や、フッ素系の冷凍機油が候補が上がっていたが、吸湿性の問題や、コストの面で冷蔵庫用として難点があり、現在のところエステル系の冷凍機油が主流となっている。

また、コンプレッサの給油機構の改善、および冷凍サイクルの油戻り機構を付加し、非溶解性の冷凍機油（HAB-ハードアルキルベンゼン）の採用も一部行われている。

③冷却性能劣化対策

HFC-134a は熱物性上、冷蔵庫運転圧力条件での冷却性能は、数%低下する。

この対応として、凝縮温度の低減、キャピラリチューブでの減圧量の調整等、冷却システムの最適設計を行い、従来と同等性能を確保している。

④信頼性

冷蔵庫は使用期間・運転時間が長く、またこの

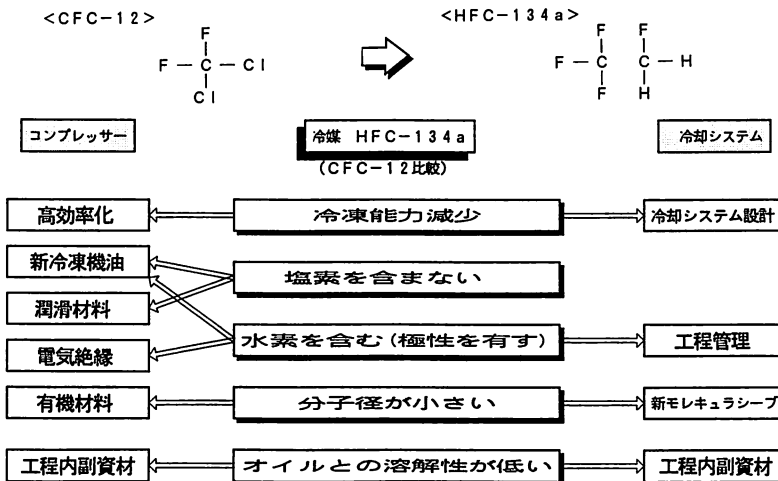


図-8 冷媒HFC-134a の特性と検討課題

間、冷却性能を維持するために、厳密な信頼性評価を行うことが必要であり、膨大な数の長期連続運転試験、フィールドテスト等の信頼性テストによって、長期にわたる信頼性を確保している。

(2) HCFC-22

多くのルームエアコンに用いられているこの冷媒は、ODPがCFC-12の1/20と小さく、コンプレッサー設計に既知の材料・信頼性技術が応用できる点で有利である。特にR502を使用する冷蔵庫では、冷凍能力の面で有用な選択肢であり、大型冷蔵庫のロータリータイプのコンプレッサーに採用されている。

□冷媒としての特性上、冷蔵庫の使用条件では、吐出ガス温度が上昇する。

□長期信頼性維持のためには、コンプレッサーモータの巻線温度を下げる必要があり、冷凍サイクルの再設計が必要となる。

□ODPが0ではないため、UNEP (United Nations Environment Programme 国連環境計画) で1996年から総量を1989年の使用量に凍結、2020-2030年に全廃することが決議され、また今後全廃時期の前倒しが充分予想される。

何れにしても、HCFC-22は過渡的な冷媒であり、新たな恒久的代替冷媒に切り替える必要がある。

(3) 炭化水素系冷媒

最近、イソブタンやプロパンなどの炭化水素系冷媒を採用するドイツの動きがあるが、これら物質は強燃性・爆発性・性能面で難点も多く、日本の冷蔵庫業界は、現時点では採用を留保している。

□可燃性の評価：冷蔵庫の庫内に可燃性ガスが漏洩充満した場合、除霜ヒータや、電気部品の電気接点の火花などで爆発事故を誘発する恐れがある。木造家屋が多い日本の場合、外部の出火による拡大被害に対する評価も重要であり、現在、JEMA「冷蔵庫フロン対応研究委員会」の「冷凍サイクル分科会」で公的機関に依頼し、安全性の確認を行っている。

(4) 混合冷媒

現在、各種非共沸混合冷媒が提案されており、特性的に単一冷媒に近い物質もあり、今後の選択肢の一つである。

3.2 発泡用CFC-11の代替手段

ウレタン発泡用のCFC-11の使用量は、冷媒の4～5倍多いため、CFC-11の削減はCFC問題に対して効

果的である。

過去、短期的対策として、1989年よりウレタン処方を変更することにより、発泡剤であるCFC-11の一部を水に置換える水増量発泡により、消費量の削減を行ってきた。中長期的には、発泡剤の代替化によって対応する必要があり、日本では現在、主として4種類が採用されている。

(1) HCFC-141b

大半のメーカーが採用しており、CFC-11とほぼ同等の特性が得られている。

□ケミカルアタック：プラスチック材料に対するアタック性がCFC-11より強いいため、ウレタンと接触するプラスチック材料は、耐フロン性のものを新規に開発した。

□ODPが0.1と0でないため、新たな代替物質への切替えが必要である。

(2) 炭化水素系

冷媒と異なり、製品としての爆発事故の可能性はなく、製造ラインの防火安全策を必要とするが、フロンレスの有力な選択肢の一つである。

ドイツを中心とするヨーロッパでは広く採用されており、日本においても一部採用されている。

断熱性能的には、HCFC-141bより劣るため、冷蔵庫全体として断熱材の厚みを厚くする等によって、HCFC-141bと同等性能を確保している。

(3) HCFC-22+HCFC-142b

一部のメーカーで採用しており、HCFC-141bよりケミカルアタック性が穏やかである。本発泡剤もHCFCであり、再切替えが必要である。

(4) 真空断熱パネル+100%水発泡

一部のメーカーが採用しており、フロンレスの選択肢の一つと考えられる。部品増によるコストアップ、信頼性、軽量化、廃棄処理等、まだ改善のための技術課題は多い。

(5) 脱HCFC断熱材開発

JEMAでは平成5年より5ヵ年計画で国の補助金を受け、「脱HCFC断熱材の技術開発」をスタートしている。現在、CFC-11代替の主流であるHCFC-141bに変わるODP=0で低GWPを目標に取り組んでおり、新規HFCを発泡剤とする断熱材で有力な候補HFCも見つかりつつある。

4. 冷蔵庫のCFC回収問題

以上述べてきたように、新規冷蔵庫については1995

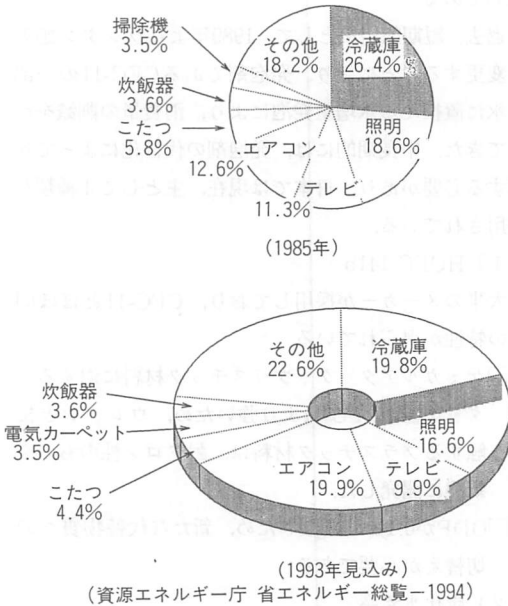


図-9 年間の家庭内使用電力の内訳

年末までに、全数CFCレスに切り替わる予定であるが、市場で使用されている冷蔵庫のCFCの回収については、多くの困難を伴う。

ドイツを始めとして欧州では地方自治体を主体とするリサイクル一貫処理システムも実用化されているが、日本では、JEMAとして既に1994年4月より修理冷蔵庫からの冷媒CFCの回収を実施している。廃棄時については自治体の大型ごみ処理システムが現状未確立であり、家電業界としては、自治体を補完するため廃冷蔵庫などの処理システムを業者自らが構築し協力していく事とし、合理的システム構築の研究・実証事業を開始した。

先に述べてきたCFC代替物質、また将来使用される可能性のある物質を考えると、機械的に破碎・回収する方式よりも、燃料を基本とした無害化処理方式が最も現実的なシステムと考えられる。

5. 省エネルギーに対する取組み

オゾン層保護の面で効果のあるCFC代替物質に対して、最近地球温暖化面からも規制強化の動きがある。冷蔵庫は、CFC代替物質(HCFC, HFC)の直接的な温暖化への影響以外に、家庭内の電力多消費機器としての側面をもっている(図-9)。機器のエネルギー効率の低下は電力消費量の増加をもたらす、火力発電であればその稼働率を高め、結果として温暖化ガスで

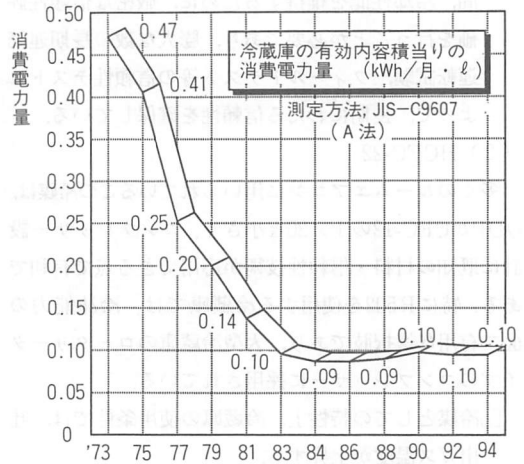


図-10 電気冷蔵庫の消費電力量推移

あるCO₂を多量に発生させることになる。

即ち、地球温暖化への影響は、総合的な影響度で判断すべきものであり、米国が重視する総合温暖化影響因子(TEWI-Total Equivalent Global Warming Impact)の概念で比較評価することが妥当であろう。特に冷蔵庫の大型化が進んできた日本においては、冷蔵庫の消費エネルギーを抑制する対策が最も重要である。

第1次エネルギーショックに端を発して、冷蔵庫は「エネルギー使用合理化に関する法律」(通称省エネ法)で特定機器に指定され、技術改良を積み上げることで省電力に努めてきた。図-10に示すように、1973年からの10年間で消費電力を約1/5に低減し、CFC代替化によって、冷媒および断熱材の効率が低下するが、これらの効率低下分を吸収し、ほぼ同等レベルの機器効率を維持している。

6. まとめ

冷蔵庫のCFC代替手段の選択は、技術的・経済的・環境保護効果の面で最適なものにする必要があり、種々の選択肢の中から、1995年末のCFC全廃に対して方向性を見出し、冷蔵庫製造各社は、多くの機種の変更を精力的に進めているところである。

この間、冷媒・断熱材といった冷蔵庫の基本の部分が変わるという、大きな仕様変更を伴う課題に対し、JEMA「冷蔵庫フロン対応研究委員会」で各社の技術力を結集して取り組んできたことが、予定通りの全廃が達成できる大きな要因の一つであろう。